

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Vliv procesních médií na vrtání hlubokých otvorů
The Influence of Process Fluids for Drilling Deep Holes

Student: Radek Plevák
Vedoucí bakalářské práce: Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Radek Plevák**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Vliv procesních médií na vrtání hlubokých otvorů**
The Influence of Process Fluids for Drilling Deep Holes

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky vrtání hlubokých otvorů.
2. Teoretické předpoklady použití procesních médií.
3. Návrh a realizace experimentální činnosti.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěrečné zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007, s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007, s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Antonín Trefil

Datum zadání: 14.12.2012
Datum odevzdání: 20.05.2013




Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě
14.5.2013

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 14.5.2013


.....
Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Radek Plevák

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Ořechov 272, PSČ: 687 37

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PLEVÁK, Radek. *Vliv procesních médií na vrtání hlubokých otvorů*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013, 52 s. Bakalářská práce, vedoucí: Petrů, J.

Bakalářská práce se zabývá vlivem procesních médií na vrtání hlubokých otvorů. V úvodu je nastíněna historie a podstata technologie vrtání. Dále následuje přehled nejpoužívanějších nástrojů na vrtání hlubokých otvorů. Nedílnou součástí při vrtání hlubokých otvorů je přívod a druh procesního média. Vhodně zvolené procesní médium při správném přívodu a za správného tlaku umožňuje zvýšení řezné rychlosti, potažmo snížení strojního času a zpravidla delší životnost nástroje. V závěru se bakalářská práce zabývá porovnáváním naměřených parametrů drsnosti povrchu vrtaného otvoru. Otvory jsou vrtány do shodného materiálu, shodným nástrojem a za shodných řezných podmínek. Proměnnou je v experimentální části pouze procesní médium, přičemž je na základě testování vyhodnoceno, jaký vliv má použité médium na výslednou drsnost povrchu zhotoveného otvoru.

ANNOTATION OF THESIS

PLEVÁK, Radek. *The Influence of Process Fluids for Drilling Deep Holes*. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2013, 52 p. Thesis, head: Petrů, J.

This bachelor's thesis deals with the influence of process fluids for drilling deep holes. The introduction outlines the history and fundamentals of drilling technology. Followed by a list of the most commonly used tools for drilling deep holes. An integral part of the deep drilling is supply and the type of process fluid. Appropriately selected process fluid at the correct flow and pressure allows for the proper cutting speed increases, hence reducing machining time and longer tool life generally. In conclusion, the thesis deals with the comparison of the measured parameters of the surface roughness of the hole. Holes are drilled in the same material, by the same instrument and under the same cutting conditions. Variable there is in the experimental part of the process medium only. Taking on the basis of testing evaluated the influence of the medium on the final surface roughness of the made hole.

Seznam použitých symbolů a značek

Symbol	Popis	Jednotka
IT	Stupeň přesnosti	[-]
Ra	Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti	[μm]
D	Průměr nástroje	[mm]
n	Otáčky nástroje (obrobku)	[mm^{-1}]
v_c	Řezná rychlost	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
pH	Hodnota logaritmické koncentrace vodíkových iontů v roztoku	[-]
p	Tlak	[MPa]
T	Teplota	[°C]
v_f	Posuvová rychlost	[$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]
f	Posuv na otáčku	[mm]
f_z	Posuv na zub	[mm]
z	Počet zubů nástroje	[-]
A_D	Průřez třísky	[mm^2]
b_D	Jmenovitá šířka třísky	[mm]
h_D	Jmenovitá tloušťka třísky	[mm]
a_p	Hloubka řezu	[mm]
κ_r	Úhel nastavení hlavního ostří	[°]
ε_r	Úhel špičky nástroje	[°]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
PVD	Fyzikální metoda povlakování	[-]
CVD	Chemická metoda povlakování	[-]
PCVD	Plazmatická CVD metoda	[-]
HSS	Rychlořezná ocel (High speed steel)	[-]

Obsah

Seznam použitých symbolů a značek.....	6
Úvod	9
1. Úvod do problematiky vrtání hlubokých otvorů	10
1.1 Podstata vrtání	10
1.2 Obecné zásady při vrtání.....	11
1.3 Povlakované řezné nástroje	13
1.4 Hluboký otvor	13
1.5 Pilotní otvor	14
1.6 Zásady hlubokého vrtání	14
2. Vrtací nástroje	16
2.1 Šroubový vrták	16
2.2 Dělový vrták	17
2.3 Kopinatý vrták	18
2.4 Ejektorový systém	19
2.5 Systém STS	20
3. Teoretické předpoklady použití procesních médií	22
Řezné prostředí.....	22
3.1 Chladicí účinek.....	22
3.2 Mazací účinek	23
3.3 Čistící účinek.....	23
3.4 Provozní účinek.....	24
3.5 Ochranný účinek	24
3.6 Zdravotní nezávadnost.....	24
3.7 Provozní náklady.....	25
4. Rozdělení procesních médií	26
4.1 Vodní roztoky	26
4.2 Emulzní kapaliny	26
4.3 Mastné oleje a tuky	27

4.4	Ropné oleje	27
4.5	Řezné oleje	27
4.6	Syntetické a polysyntetické kapaliny.....	28
5.	Způsob přívodu procesního média do místa řezu	30
5.1	Standardní chlazení	30
5.2	Chlazení tělem nástroje.....	30
5.3	Tlakové chlazení	30
5.4	Podchlazování řezné kapaliny	31
5.5	Ostatní druhy chlazení.....	31
5.5.1	MQL (Minimum Quantily Lubrication)	31
5.5.2	Vírová trubice	32
6.	Návrh a realizace experimentální činnosti	33
6.1	Návrh experimentální činnosti	33
6.2	Realizace experimentální činnosti	34
6.2.1	Materiál obrobku	34
6.2.2	Stroj	35
6.2.3	Nástroje.....	36
6.2.4	Řezné parametry.....	37
6.2.5	Měření drsnosti	38
6.2.6	Procesní média	38
7.	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	41
7.1	Ekonomické zhodnocení při přívodu média Avantin 3309.....	42
7.2	Ekonomické zhodnocení při přívodu média Emulkat UNI 500 N	44
	Závěr.....	47
	Poděkování	48
	Seznam použité literatury	49
	Seznam příloh	51
	Příloha A	52

Úvod

Vrtání patří mezi nejstarší technologie obrábění. Za nejstarší vrtačku můžeme považovat ruční smyčcovou vrtačku, která je vyobrazena na obrázku č. 1.0. Nejstarší vrtačky a nástroje byly vyráběny nejčastěji z přírodních materiálů, jako je dřevo, kosti a kamení. K rozvoji dochází při poznání teorie zpracování železa a při průmyslové revoluci. V období průmyslové revoluce se rozvíjí technologie broušení, frézování, vrtání a hoblování.



Obr. 1.0 – Smyčcová vrtačka [1]

Mezi první vrtané hluboké otvory můžeme považovat vrtání hlavní palných zbraní a děl. Tato technologie měla nedílný význam ve zbrojním průmyslu. Technologie dosahovala nejvyššího rozvoje při válečných konfliktech. V průběhu času se technologie hlubokého vrtání rozšířila do všech oblastí průmyslu, kde má své nedílné zastoupení. Nejčastěji se jedná o automobilový, letecký, zbrojní a energetický průmysl, ale také mnoho dalších. Stále dochází ke zdokonalování problematiky hlubokého vrtání. Zdokonalovány jsou nejčastěji řezné nástroje. Na nástrojích se zdokonaluje materiál nástroje a použitý povlak, řezná geometrie a také se klade důraz na životnost a trvanlivost nástroje.

Nedílné zastoupení při třískovém obrábění má procesní médium. Procesní médium plní hned několik důležitých funkcí při třískovém obrábění. Mezi hlavní můžeme považovat chlazení, mazání a čistící účinek. Každá metoda třískového obrábění vyžaduje určitou převažující funkci. V nabídce výrobců nalezneme celou škálu těchto médií. Výrobci se snaží sjednotit několik funkcí do jednoho procesního média. Sjednocení se jim úspěšně daří.

Experimentální část bakalářské práce je prováděna ve firmě Vítkovice Heavy Machinery a.s.. Tato firma se zabývá výrobou ingotů, odlitků, zalomených hřídelí, součástí pro lodní, energetický a železniční průmysl. Jedná se především o obrobky, které se vyznačují svými velkými rozměry a svou velkou hmotností.

Experiment byl zaměřen na vliv procesního média na dosahovanou drsnost povrchu vrtaného otvoru. Vrtací nástroj byl dvoubřitý šroubový vrták. S tímto vrtákem byly vrtány průchozí otvory, které dosahovaly délky $27,5 \times D$. Jedná se tedy již o hluboký otvor. Testovány byly dva druhy procesního média.

1. Úvod do problematiky vrtání hlubokých otvorů

1.1 Podstata vrtání

Vrtání je historicky jednou z nejstarších výrobních metod obrábění. Tímto názvem se rozumí zhotovení vnitřních rotačních, ale i nerotačních ploch řeznými nástroji. Nové technologie s novými nástroji dokáží vyrobit otvor, který není rotační. Plochy můžeme zhotovovat do plného, předvrtaného, předlitého nebo předlisovaného otvoru. Mezi vrtání můžeme zařadit nejen vrtání, ale i vystružování, vyvrtávání, vyhrubování, zahlubování a navrtávání. Těmito metodami vrtání se zhotovuje nejčastěji rotační plocha, která je nejvíce zastoupena ve strojírenství. [3]

Otvory, které vznikají vrtáním, můžeme rozdělit jako průchozí a neprůchozí. U neprůchozích otvorů musíme dbát na správné zakončení otvoru, odřezání třísky ze dna otvoru a na dodržení správné hloubky otvoru. Správné odřezání třísky ze dna otvoru docílíme tím, že necháme nástroj několikrát protočit v otvoru bez posuvu. [3]

Společným znakem všech technologií je rotující pohyb nástroje nebo obrobku. Nejčastějším nástrojem při vrtání je vrták. Operace vrtání je nejčastěji prováděna na vrtačkách. Vrtat se dá i na soustruzích, jednoúčelových strojích a frézkách. Vrtáním se vyrábějí otvory s přesností IT 11 – IT 14 a s dosahovanou drsností povrchu Ra 12,5 μm až Ra 6,3 μm. Při vyšší požadované přesnosti a drsnosti povrchu otvoru se po operaci vrtání volí jedna z dokončovacích operací. Mezi dokončovací operace řadíme vystružování, protahování, broušení, honování a lapování. Dokončovací operace se volí podle rozměru otvorů, konstrukce obrobku, obráběného materiálu a na množství vyráběných kusů. [2]

Hlavní řezný pohyb při vrtání je otáčivý a vykonává jej obvykle nástroj. Osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu. Posuv je přímočarý ve směru osy otáčení a vykonává jej také zpravidla nástroj. Je tomu tak na stolních vrtačkách. Při vrtání na soustruzích vykonává otáčivý pohyb obrobek a posuvný pohyb nástroj. Nástroj je upnut v horizontální poloze. Při vrtání na frézce je nástroj upnut vertikálně a vykonává otáčivý pohyb, obrobek vykonává pohyb posuvný.

Řezná rychlost se určí ze vztahu:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (1.0)$$

v_c ... řezná rychlost [$m \cdot min^{-1}$]

D ... průměr nástroje [mm]

n ... počet otáček [min^{-1}]

Posuvová rychlost se vypočte ze vztahu:

$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.1)$$

v_f ... posuvová rychlost $[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$

f ... posuv nástroje na jednu otáčku $[\text{mm}]$

n ... otáčky nástroje $[\text{min}^{-1}]$

Posuv na zub se určí ze vztahu:

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}] \quad (1.2)$$

f_z ... posuv na zub $[\text{mm}]$

f ... posuv nástroje na jednu otáčku $[\text{mm}]$

z ... počet zubů (břitů) nástroje $[-]$

Výpočet obecného průřezu třísky. Uvedené veličiny jsou vyobrazeny na obrázku č. 1.1. [3]

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.3)$$

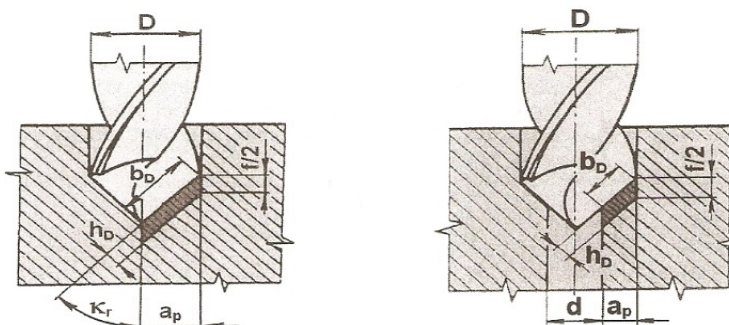
A_D ... průřez třísky $[\text{mm}^2]$

b_D ... jmenovitá šířka třísky $[\text{mm}]$

h_D ... jmenovitá tloušťka třísky $[\text{mm}]$

a_p ... šířka záběru ostří $[\text{mm}]$

f ... posuv na otáčku $[\text{mm}]$



Obr. 1.1 - Průřez třísky při vrtání dvoubřítým šroubovitým vrtákem [3]

1.2 Obecné zásady při vrtání

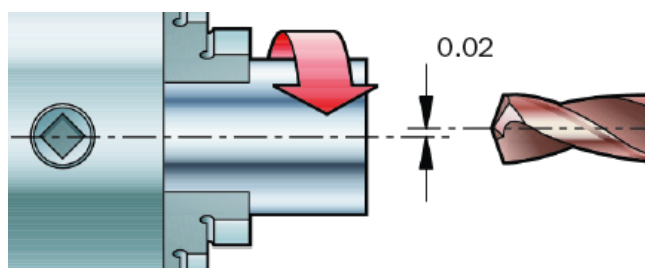
Řezná rychlost, která je měřítkem hlavního pohybu je na obvodu největší a směrem ke středu nástroje se zmenšuje. Ve středu nástroje je rychlost nulová. Řeznou rychlostí máme tedy na mysli obvodovou rychlost na největším průměru nástroje. To má za následek vznik nárůstku a změnu polohy nástroje. Také úhel čela se mění a to tak, že na obvodu je největší

a směrem ke středu vrtáku se zmenšuje. Díky vzniku těchto faktorů jsou řezné podmínky nevyhovující v oblasti osy nástroje. Tím dochází k tomu, že materiál není odřezáván, ale vytlačován a je vystaven plastické deformaci. Důsledkem tohoto vytlačování je zvýšení axiální složky řezné síly. Tomuto můžeme zabránit zmenšením příčného ostří. [6]

Správnému odvodu třísek musíme věnovat zvýšenou pozornost zvláště při vrtání hlubokých otvorů. Čím hlubší je otvor, tím více musíme dbát na správný tvar a správný odvod třísky z místa řezu. Na tvar třísky má vliv pracovní geometrie a řezné podmínky nástroje. Na správný odvod třísek z místa řezu má vliv tlak a objem procesního média. Procesní médium by mělo být přiváděno přímo na břit nástroje. Platí obecné pravidlo průtoku. Toto pravidlo zní, že čím menší je průměr vrtaného otvoru, tím musí být tlak kapaliny větší. Naopak čím větší je vrtaný průměr, tím musí být větší průtok. Tyto doporučené hodnoty najdeme u výrobce daného nástroje.

Vrták je štíhlý nástroj, který je namáhán na vzpěr axiální silou. Štíhlost nástroje je označována jako poměr průměru vrtaného otvoru k jeho hloubce. Tuto hodnotu potřebujeme znát ke správné výrobě nástroje. Příliš velká štíhlost má za příčinu nestabilitu nástroje. Tomuto můžeme zabránit použitím vhodných vrtacích pouzder nebo navrtáním pilotního otvoru. Vrtací pouzdra mají za úkol navést nástroj (osu nástroje) na osu požadovaného otvoru. Proto se nástroj volí tak, aby měl co největší tuhost a stabilitu a co nejmenší štíhlost. Čím tužší je celá soustava S N O (stroj, nástroj, obrobek) tím vzniká lepší přesnost a drsnost obráběného povrchu. [6]

Trvanlivost nástroje a dosahovaná drsnost obrobeného povrchu závisí na nastavení nástroje a na jeho házivosti. Vrtáky, které jsou monolitní, vyžadují radiální házivost, která je max. 0,02 mm. Pro názornost je házivost vyobrazena na obrázku č. 1.2. U nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami je tato hodnota o něco vyšší. To díky tomu, že tyto nástroje jsou menších délek a mají vyšší tuhost. Tato hodnota je max. 0,03 mm. Házivost můžeme eliminovat použitím vhodného upínacího zařízení nebo použitím vodícího pouzdra, vyvrtáním vodícího (pilotního) otvoru. [6]



Obr. 1.2 - Radiální házení monolitního vrtáku [16]

1.3 Povlakované řezné nástroje

Mezi nepoužívanější nástroje pro třískové obrábění řadíme rychlořezné oceli, které jsou povlakovány. Mezi materiály, které se dají povlávat, řadíme rychlořeznou ocel, slinuté karbidy, cermety a řeznou keramiku. Povlaky se provádí metodami PVD (Physical Vapour Deposition - fyzikální metoda povlakování), CVD (Chemical Vapour Deposition - chemická metoda povlakování), PCVD (plazmatická CVD metoda). Nejčastěji používané povlaky jsou na bázi TiN (nitrid titanu) a TiAlN (titan aluminium nitrid). [7]

Povlak TiN (nitrid titanu) je nepoužívanějším povlakem. Výhodou je jeho elasticita a adheze. Barva tohoto povlaku je zlatá. Povlak TiAlN (titan aluminium nitrid) je nejvhodnější pro vysokorychlostní obrábění, protože odolává vysokým teplotám. Barva povlaku je červenohnědá. [8]

Povlakuji se celé nástroje, nebo pouze jejich části. Pro ekonomičnost je vhodné použít nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami, kde jsou povlakovány pouze tyto destičky. Výměna destičky je rychlá a snadná. Destičky jsou na tělo nástroje připájeny, nebo upnuty různým druhem upnutí. Mezi nejzákladnější druhy považujeme upínání přes upínku, pákový upínací systém, systém se šroubem a klínovou upínkou. Nepoužívanějším systémem upnutí je upínání pomocí šroubu. Povlakováním nástrojů se docílí vyšší tvrdosti, otěruvzdornosti a zvýší se řezivost nástrojů. Tato vrstva také chrání nástroj proti opotřebení na čele a hřbetě. Dále také zamezí tvorbě nárůstku a studených svarů. Zvyšuje trvanlivost nástroje, produktivitu a kvalitu obráběného povrchu.

1.4 Hluboký otvor

Hluboký otvor se značí jako poměr hloubky vrtané díry x průměru nástroje ($L \times D$). Za hluboký otvor můžeme považovat otvor, který je vrtán nástrojem, který má štíhlost nad 6 - 7. Tyto otvory jsou velmi těžko zhotovitelné. Při výrobě musíme dbát na mnoho aspektů. Mezi tyto aspekty můžeme považovat technologii vrtání, řeznou rychlost, správné procesní médium, správný tlak a průtok tohoto média a mnoho dalších. Také musíme zajistit správné najetí nástroje do řezu. [6]

Vrtání těchto hlubokých otvorů lze provádět několika způsoby. Mezi nejzákladnější patří vrtání s rotujícím obrobkem, s rotujícím nástrojem, nebo s rotujícím nástrojem i obrobkem. Při vrtání hlubokých otvorů používáme takové nástroje, které nejsou přerušovány v řezu. Díky tomu se snižuje výrobní čas, ale jsou kladeny vyšší požadavky na nástroje. [9]

Při špatném odvodu třísek dochází k jejich hromadění v odvodové části nástroje. Tím dochází k zhoršení povrchu obrobku, zvyšování teploty a mnoha dalších nežádoucích jevů.

Proto musíme dbát na vznik správné velikosti a tvaru třísky. Zároveň na správný odvod třísek z místa řezu.

S hlubokými otvory se setkáváme ve všech odvětvích průmyslu. Od leteckého, energetického, strojírenského až po těžbu ropy.

1.5 Pilotní otvor

Pilotní otvor slouží k přesnému navedení osy nástroje na osu otvoru. Zhotovuje se pilotním vrtákem. Jedná se o nástroj, který zhotoví otvor v plusových tolerancích, a to o 0,01 mm až maximálně o 0,03 mm. Firma Gühring vyrábí tyto nástroje v toleranci m7. Nástroje na vrtání hlubokých otvorů vyrábí stejná firma v minusových hodnotách, a to v toleranci h5. Musíme brát v potaz i možné přeastření nástroje. Nástroje na vrtání pilotních otvorů se vyrábí se stejným nebo větším vrcholovým úhlem. Pokud je vytvořený pilotní otvor příliš velký, bude vrták (např. dělový) odtlačován od osy vrtání. To bude mít za následek, že vrtaný otvor bude menší než jmenovitý průměr nástroje. Odtlačování je způsobeno řeznými silami. Pilotní otvor je vrtán minimálně do hloubky $1,5 \times D$. [9]

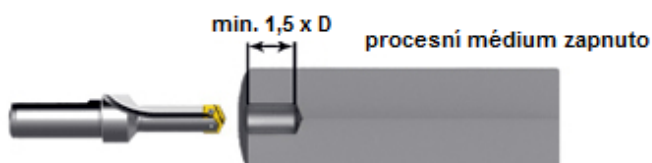
Stejně jako pilotní otvor nám může posloužit i vodící pouzdro, které dokáže plnohodnotně zastoupit pilotní otvor. Vodící pouzdra jsou kalené přesné součásti k přímému vedení nástroje. Pouzdra se používají nejen pro vrtání, ale i pro vystružování.

1.6 Zásady hlubokého vrtání

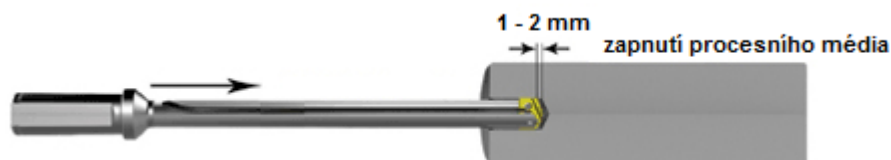
Při vrtání nástroji na hluboké vrtání dochází k prohnutí nástroje a to díky jeho délce a hmotnosti řezné části. Následkem tohoto dochází k vytváření jiné geometrie otvoru, než vyžadujeme. Proto musíme prohnutí nástroje předejít. U vrtáků jako je šroubový, dělový, kopinatý předcházíme prohnutí na počátku vrtání navrtáním pilotního otvoru nebo s pomocí vodícího pouzdra. Pilotní otvor nebo vodící pouzdro nám zabezpečí, že osa nástroje najede na osu otvoru. Rozměr pilotního otvoru se volí stejný jako otvor, který bude vrtán. Vrcholový úhel se volí stejný, nebo větší. Vrtání pilotního otvoru se provádí minimálně do hloubky $1,5 \times D$. Vyobrazení navrtání pilotního otvoru je na obrázku č. 1.3. Po vyvrtání pilotního otvoru najíždíme požadovaným vrtákem o požadované délce a průměru. Pro najíždění se volí snížená řezná rychlost a posuv. Otáčky volíme zpravidla levotočivé. To z důvodu, aby nástroj najel do zhotoveného pilotního otvoru bez možnosti zabrání bříty. Těmito levotočivými otáčkami a sníženým posuvem najíždíme nástrojem 1 mm až 2 mm před dno pilotního otvoru. Zde změníme otáčky na pravotočivé. Volíme také časovou prodlevu na

vyrovnání řezné rychlosti a otáček. V tomto okamžiku zapínáme procesní médium (obrázek č. 1.4). Zde začínáme vrtat do požadované hloubky, požadovanými řeznými rychlostmi a posuvem (obrázek č. 1.5). Při výjezdu nástroje z materiálu se snižuje řezná rychlost a posuv. Nástroj musí vyjíždět minimálně 3 mm od plného průměru vrtáku. Zde se také vypíná procesní médium (obrázek č. 1.6). Jako poslední krok následuje vyjetí nástroje z obrobku (obrázek č. 1.7). [11]

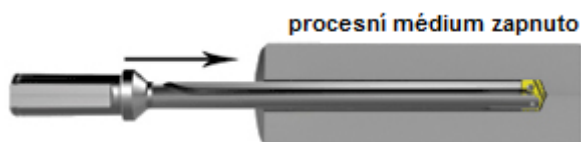
Čím větší je hloubka vrtané díry, tím je technologie, odvod třísek a mnoho dalších aspektů složitější a náročnější.



Obr. 1.3 – Navrtání pilotního otvoru [11]



Obr. 1.4 – Najetí požadovaným vrtákem před dno pilotního otvoru [11]



Obr. 1.5 – Vrtání požadovaným nástrojem [11]



Obr. 1.6 – Vyjetí nástroje s materiálu [11]

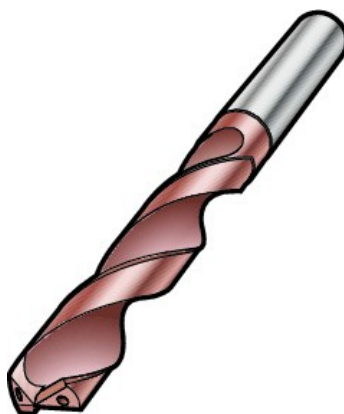


Obr. 1.7 – Vyjetí nástroje s obrobku [11]

2. Vrtací nástroje

2.1 Šroubový vrták

Šroubový vrták je nejčastěji používaným nástrojem pro vrtání (obrázek č. 1.8). Vyrábí se jako dvoubřitý nástroj, případně jako třibřitý. Vrták je opatřen drážkami, které jsou ve šroubovici. Slouží pro odvod třísek a přívod procesního média. Pro výrobu drážek se používá technologie broušení nebo frézování, podle velikosti nástroje. Úhel stoupání šroubovice vrtáku záleží na obrobitelnosti obráběného materiálu. Stoupání drážek šroubovice $27^\circ \pm 5^\circ$ mají vrtáky pro vrtání oceli a litiny běžné tvrdosti. Materiály s vysokou houževnatostí, jako jsou slitiny hliníku, cementační oceli a termoplasty mají úhel stoupání šroubovice $42^\circ \pm 5^\circ$. Vrtáky pro vrtání tvrdých materiálů, které vytváří droбивou třísku, jako je např. bronz a mosaz mají úhel šroubovice $12^\circ \pm 5^\circ$. [10]



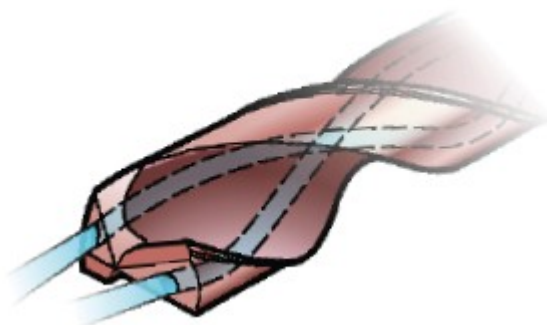
Obr. 1.8 – Dvoubřitý šroubový vrták [16]

Úhel špičky se volí také podle tvrdosti a houževnatosti obráběného materiálu. Pro nelegované oceli a litiny střední tvrdosti se volí úhel $\epsilon_r=2\kappa_r=118^\circ$. Těžko obrobitelné materiály mají úhel 140° . Pro plasty a tvrdé pryže se volí úhel 90° . Každý výrobce nástrojů uvádí, na co je požadovaný nástroj vhodný. [10]

Tělo vrtáku je kuželovité. Průměr vrtáku se zmenšuje na délce 100 mm asi o 0,04 mm až 0,3 mm, aby se snížilo tření. Průměr jádra se směrem ke stopce rovnoměrně zvětšuje s kuželovitostí 1:70, čímž se zvětšuje tuhost vrtáku.

Šroubový vrták má 2 hlavní ostří, které jsou spojeny příčným ostřím. Příčné ostří zvyšuje kroutící moment a posuvovou sílu. Tyto jevy se snažíme minimalizovat úpravou příčného ostří. K vedení nástroje v otvoru slouží fazetka, která leží na vedlejším ostří a snižuje tření. Šroubové vrtáky jsou převážně vyráběny z rychlořezné oceli, protože tato ocel je houževnatá. Ve složitějších případech obrábění se používají nástroje povlakované. [10]

Procesní médium se přivádí do místa řezu šroubovitými drážkami, nebo drážkami které jsou v těle nástroje (obrázek č. 1.9). Přívod procesního média tělem nástroje je vhodnější díky tomu, že médium je přiváděno po celé dráze nástroje na břit. Mezi nevýhody patří dražší pořizovací náklady.



Obr. 1.9 – Vrták s přívodem řezného média tělem nástroje [16]

2.2 Dělový vrták

Tyto nástroje jsou konstruovány na vrtání hlubokých otvorů. Lze s nimi dosahovat nejvyššího poměru průměru a hloubky. Byly vyvinuty pro zbrojní průmysl, kde s nimi byly vrtány otvory v hlavních palných zbraních. Dnes jsou rozšířeny do všech oblastí průmyslu. [12]

Nástroje jsou konstruovány tak, aby vedení v otvoru bylo co nejlepší. Lze s nimi vrtat hluboké otvory, aniž by došlo k vyosení nástroje. U těchto nástrojů je důležitý správný odvod třísek z místa řezu. Procesní médium přispívá jak k správnému odvodu třísek, tak i k chlazení a mazání nástroje v místě řezu. Médium je přiváděno nejčastěji tělem nástroje a to za určitého tlaku.

Při vrtání koná nejčastěji dělový vrták pouze posuv, otáčivý pohyb vykonává obrobek. Při zavrtávání nástroje do obrobku potřebuje dělový vrták vedení, které se vytváří vyvrtáním pilotního otvoru nebo pomocí vodícího pouzdra. K vedení nástroje v otvoru slouží dvě vodící lišty, které jsou umístěny ve stejné úrovni jako řezná hrana. Lišty jsou upevněny ve vybrání na těle nástroje pomocí šroubů. Dno vybrání je skloněné. Vedení nástroje v otvoru obstarává jen přední část lišty. Po opotřebení se lišty otáčí o 180° a tím se využije jejich celá délka. [13]

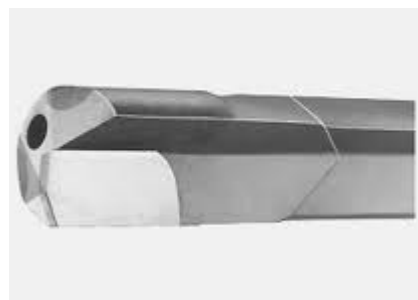
Nástroje jsou vyráběny ze dvou částí. První část nástroje tvoří hlavice, která je vyrobena z rychlořezné oceli a následně povlakována. Další možností je výroba ze slinutého karbidu pro zlepšení řezných podmínek a životnosti. Hlavice jsou připájeny na tyč, která je menšího průměru než hlavice. Tato tyč musí mít dostatečnou tuhost a štíhlost, aby nedocházelo ke chvění nástroje. Nejčastěji je vyrobena z rychlořezné oceli. Těmito nástroji se dosahují vysoké přesnosti obrábění a to v tolerancích od IT7 do IT9. Drsnost obrobeného povrchu se

dosahuje $Ra\ 0,4\ \mu\text{m}$ – $Ra\ 1,6\ \mu\text{m}$. Na dosahovanou drsnost povrchu má velký vliv použité procesní médium a také filtrace použitého média. Díky takto vysoké dosahované drsnosti povrchu odpadá dokončovací operace a tím dochází k úsporám strojního času a času obsluhy. [14]

Mezi podstatné přednosti patří jednoduchost a univerzálnost technologie. Dělové vrtání lze použít na všech strojích, které mají dostatečný rozsah posuvu. Při vrtání nedochází k přerušení řezu, nástroj vrtá otvor najednou. To nám umožňuje úsporu strojního času. Cenová dostupnost dělových vrtáků je nižší než nástroje HSS stejné délky. Také strojní čas při použití dělových vrtáků oproti HSS vrtákům je o 80 % – 90 % menší. Do dalších předností těchto nástrojů patří jistota procesu. Dělový vrták dokáže při hloubce 2000 mm dosáhnout tolerance otvoru H8. Nevýhodou u této technologie je špatná produktivita práce, toto platí pouze při malých hloubkách, do hloubky $20 \times D$. Nad tuto hloubku nemají tyto nástroje konkurenci. [15]



Obr. 2.0 – Dělové vrtáky s vyměnitelnou břitovou destičkou [20]

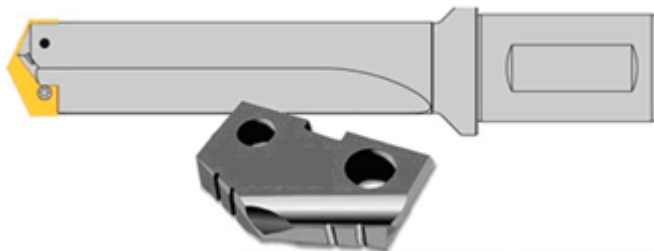


Obr. 2.1 – Dělový vrták s ocelovou hlavicí [23]

2.3 Kopinatý vrták

Kopinaté vrtáky patří mezi nejjednodušší druhy vrtacích nástrojů. Řezná část vrtáku je tvořena dvěma hlavními ostřími. Jako šroubový, tak i kopinatý vrták má příčné ostří. Hlavní ostří svírá úhel $2\kappa_r$. Úhel mezi ostřím se volí od 90° do 146° podle tvrdosti vrtaného materiálu. Čím je vrtaný materiál tvrdší, tím se úhel volí větší. Mezi největší přednost těchto vrtáků patří jejich jednoduchost (obrázek č. 2.2). Další předností je vrtání velkých průměrů bez předvrtání, díky velké tuhosti. Řezná část je nejčastěji ve formě břitové destičky, která je z odlišného materiálu než tělo nástroje. Břitová destička je vyrobena z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu, obvykle se ještě povlakuje. Na tělo nástroje je připevněna pomocí

lůžka a šroubu. Mezi hlavní nevýhody patří špatný odvod třísek. Proto se na hřbetu břitové destičky vybrušují drážky pro lepší dělení třísky. Lepšího dělení a odvodu třísek docílíme přívodem procesního média. Procesní médium je přiváděno nejčastěji tělem nástroje pod určitým tlakem. Dosahovaná drsnost povrchu při vrtání kopinatým vrtákem je srovnatelná se šroubovým vrtákem. [10]



Obr.2.2 – Kopinatý vrták a výměnná břitová destička [3]

2.4 Ejektorový systém

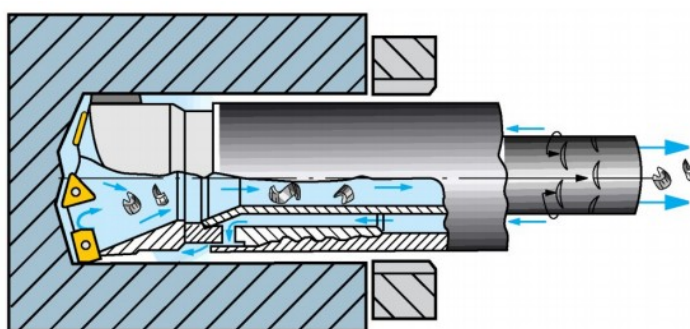
Tyto vrtáky se používají pro vrtání otvorů, jejichž délka přesahuje $5 \times D$. Jsou složeny z vrtací hlavice (obrázek č. 2.3) a vrtací trubky. Vrtací hlavice je osazena vodítky a břitovými destičkami, které odebírají třísku. Hlavice je našroubována na vnější vrtací trubce. Vrtací trubka je složena z vnější a vnitřní části. Vytváří tak mezikružší. Procesní médium je přiváděno právě tímto mezikružím pod tlakem. Vzniklé třísky se odvádí vnitřní vrtací trubkou. S třískami odchází i již přivedené procesní médium. Toto médium je filtrováno a přiváděno zpět do místa řezu. Ejektorový efekt vzniká nasáváním malého množství procesního média od břitu nástroje. Médium strhává i vznikající třísky a odvádí je (obrázek 2.4). U tohoto systému je médium přiváděno menším tlakem než u systému STS. Princip Ejektorového systému je vyobrazen na obrázku č. 2.5. Systém lze uplatnit na jakémkoli konvenčním nebo číslicově řízeném stroji, bez velkých zákroků. [3]



Obr. 2.3 – Ejektorová hlavice [24]



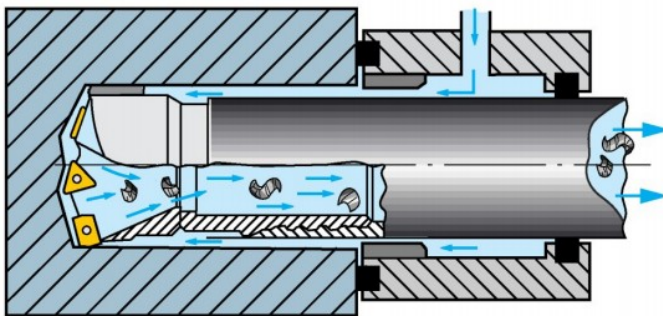
Obr. 2.4 – Pohyb procesního média [25]



Obr. 2.5 - Princip Ejektorového systému [25]

2.5 Systém STS

Tento systém je také nazýván BTA systém. Princip STS systému je zobrazen na obrázku č. 2.6. Nástroj je složen z vrtací hlavy (obrázek č. 2.7) a vrtací tyče. Vrtací hlava je osazena výměnnými břitovými destičkami a vodítky. Tato hlava je našroubována na vrtací tyči. Procesní médium je přiváděno za vysokého tlaku mezi stěnou otvoru a stěnou vrtací tyče na břit nástroje. Zde strhává vytvořené třísky a odvádí je středem vrtací tyče. Díky tomuto vysokému tlaku je systém STS účinnější než Ejektorový systém. Přívod procesního média mezi stěnou otvoru a stěnou vrtací tyče musí být utěsněn, aby nedocházelo k odvodu média a ke snížení tlaku. Systém STS se nejčastěji využívá u velkých sérií a u materiálů s těžko tvářitelnou třískou. Další výhodou oproti ejektorovému systému je větší rozsah vrtaného průměru. Vrtat s těmito systémy můžeme do plného materiálu, předem předvrtaného materiálu nebo tzv. na jádro. Tímto systémem můžeme vrtat, až do průměru 300 mm. [25]



Obr. 2.6 – Princip STS systému [25]



Obr. 2.7 – Vrtací hlava STS systému [26]

3. Teoretické předpoklady použití procesních médií

Řezné prostředí

Oblast v místě řezu, je obklopena určitým prostředím. Za řezné prostředí můžeme považovat vzduch, kapaliny nebo páry, které jsou přiváděny do místa řezu. Řezná oblast se nachází u kořene třísky. Chemické a fyzikální vlastnosti prostředí výrazně ovlivňují deformaci vzniklou na obráběném materiálu i na nástroji. Tyto vlastnosti mohou být při shodných podmínkách obrábění rozdílné. Dále odvádí vzniklé teplo z místa řezu, výrazně snižují tření mezi nástrojem a povrchem obrobku. Zlepšuje se dosahovaná drsnost povrchu. [17]

Účinnost procesních médií při obrábění závisí na molekulární příbuznosti s kovem. Tato příbuznost podmiňuje smáčecí a mazací schopnost média. Také usnadňuje obrábění. [18]

Z hlediska technologického a provozního je mnoho dalších požadavků na tyto kapaliny. Mezi ty nejdůležitější můžeme zařadit:

- Chladicí účinek
- Mazací účinek
- Čistící účinek
- Provozní stálost
- Ochranný účinek
- Zdravotní nezávadnost
- Přiměřené náklady [19]

3.1 Chladicí účinek

Chladicí účinek znamená odvod vzniklého tepla procesním médiem z místa řezu. Tuto schopnost má každé procesní médium, které smáčí povrch kovu. Tento jev nastává vždy při procesu obrábění. Proudem přiváděné procesní médium oplachuje nástroj, obrobek i třísky. Tím vzniklé teplo přejímá a odvádí ho. [19]

Čím vyšší teplota vzniká v místě řezu, tím se zvyšují nároky na správný odvod tepla. Teplo, které se správně neodvede, se může hromadit v obrobku nebo nástroji. Hromadění tepla v obrobku má negativní vliv na požadovanou přesnost. Nahromaděná teplota v nástroji (dochází převážně u nástrojů z rychlořezné oceli) má za následek překročení teploty popouštění. Nástroj ztrácí své vlastnosti, jako je řezivost a dochází k velkému opotřebení. [17]

Chladicí účinek závisí na vypařování, smáčecí schopnosti, výparném teple, rychlosti vypařování, tepelné vodivosti a na měrném teple procesního média. Čím vyšších hodnot

budou tyto veličiny nabývat, čím větší bude chladicí účinek procesního média. Mezi další podstatnou veličinu patří i průtokové množství. Čím větší bude průtokového množství, tím větší bude mít procesní médium chladicí účinek, který se dá ještě zvýšit výparným teplem. Příliš velké odpařování není žádoucí a to kvůli vzniklým parám. Vzniklé páry se musí odsávat a nejsou žádoucí jak z hlediska ekonomického i zdravotního. [19]

3.2 Mazací účinek

Mazací účinek je schopnost procesního média vytvářet ucelenou vrstvu na povrchu kovu. Vrstva brání přímému styku materiálu obrobku a materiálu nástroje. Tím se snižuje tření mezi kovovými materiály a řezná síla. Díky zmenšení řezné síly dochází ke zmenšení výkonu, který je potřebný k obrábění kovu. Dále se zlepšuje dosažená drsnost povrchu. Ta se vyžaduje převážně u dokončovacích a technologicky náročných operací, při kterých dochází k velkým tlakům a vysokým teplotám. Jmenované vlastnosti se vyskytují převážně u protahování, výroby ozubení a výroby závitů. Při obrábění s malými tlaky a nízkou teplotou nám postačí mazivo obsažené v řezných emulzích. Mazací schopnost procesního média je závislá na pevnosti vytvořené mezní vrstvy a viskozitě. Při vysoké viskozitě vzniká nevyhovující pronikání média mezi plochy, jako jsou nástroj – obrobek, nebo nástroj – tříska. To jsou plochy, na kterých vzniká tření. Médium, které je viskóznější, ulpívá na vzniklých třískách, kterými odchází. Díky tomuto dochází k vyšší ztrátě média a tím i k vyšším nežádoucím nákladům. [19]

3.3 Čistící účinek

Jednou z nejdůležitějších vlastností procesního média je správný odvod třísek a pilin, které vznikají při procesu obrábění. Třísky a piliny mají tendenci se v odvodové drážce shromažďovat a spojovat se. To má nevhodný dopad na nástroj a drsnost povrchu. Správné procesní médium při správném použití nám zamezí spojování a shromažďování v odvodové části nástroje, ale i spojování třísky s nástrojem a správný odvod z místa řezu. Kvalita procesního média závisí také na čistotě. Při procesu se procesní médium recykluje přes filtry a vrací se zpět do zásobníku. Přiváděné znečištěné médium může mít za následek zhoršení drsnosti povrchu. Prvotřídní čistící účinek mají média s malou viskozitou bez aktivních přísad. Dokáží vzniklé třísky a nečistoty obalit médiem a zabraňují spojování nečistot. Čistící účinek je důležitý u všech technologiích obrábění. Nejdůležitější je u broušení, kde

odplavuje opotřebená brusná zrna. Také u vrtání hlubokých otvorů, kde odvod třísek z místa řezu je prvořadý. [17]

3.4 Provozní účinek

Měřítkem provozní stálosti procesního média je doba od začátku používání, až do doby kdy procesní médium nebude vyhovovat, tedy do doby jeho výměny. Výměna proběhne při snížení fyzikálních a chemických vlastností. Především u olejového typu procesního média dochází ke vzniku pryskyřičnatých usazenin. Tyto usazeniny jsou nežádoucí a mohou ohrozit chod stroje. Produkty stárnutí procesního média mají nepříznivý vliv na funkční vlastnosti. V procesních médiích se musí stále udržovat fyzikální i chemické vlastnosti na požadované úrovni, které jsou důležité pro správnou funkci. [5]

3.5 Ochranný účinek

Ochranný účinek procesního média má za úkol chránit kovové materiály před vznikem koroze. Tento požadavek je podstatný z toho důvodu, aby nemusely být výrobky mezi operacemi konzervovány. Díky tomu odpadají další náklady na konzervování výrobků. Také před korozí ochraňuje i obráběcí stroj. Pro vznik dokonalého antikorozního efektu jsou do procesních médií přidávány přísady. Přidávané přísady mají za úkol pasivovat kovy před nežádoucími účinky. Procesní médium nesmí být agresivní vůči gumovým těsněním a nesmí rozpouštět ochranné nátěry stroje. [19]

3.6 Zdravotní nezávadnost

Nárok na zdravotní nezávadnost procesního média vychází z toho, že obsluhující pracovník přichází do styku s těmito médii na obráběcích strojích. Z tohoto důvodu médium nesmí obsahovat žádné škodlivé látky, které by obsluhujícím pracovníkům způsobily zdravotní problémy. Jedná se o látky, které mohou poškodit sliznici a pokožku, ale i o látky které znečišťují ovzduší nepříjemným zápachem. Tyto látky nesmí být jedovaté. Zdravotní nezávadnost procesních médií můžeme ovlivnit základním hygienickým opatřením. Mezi tyto opatření řadíme větrání, ochranu a mytí pokožky. Pokud větrání není dostatečné, musí být vzniklé páry na pracovišti odsávány. [5]

3.7 Provozní náklady

Provozní náklady souvisí převážně se spotřebou procesního média při procesu obrábění. Při posuzování vlivu procesních médií na průběh obrábění musíme dbát na trvanlivost nástroje, ostření a výměnu nástroje, deformaci při řezání, kvalitu obrobku a v neposlední řadě i na spotřebu energie. Po tomto uvážení následuje klasifikace procesních médií na provozní stálost, spotřebu, výměnu a likvidaci. [19]

Jedině důkladný technicko-ekonomický rozbor může správně určit vhodnost procesního média. Rozhodování podle finančních nákladů je zcela zkreslující a nedostačující, protože cena není tím hlavním parametrem rozhodování. [5]

4. Rozdělení procesních médií

Procesní média můžeme rozdělit do několika skupin. Jsou to procesní média s převažujícím chladícím účinkem, a média s převažujícím mazacím účinkem atd. Výrobci se snaží u médií, s převažujícím chladícím účinkem, zvýšit mazací účinek. Toto se jim úspěšně daří a tím je praktický rozdíl mezi nimi smazán. [5]

Procesní média můžeme obecně rozdělit do těchto skupin:

- Vodní roztoky
- Emulzní kapaliny
- Mastné oleje a tuky
- Ropné oleje
- Řezné oleje
- Syntetické a polysyntetické kapaliny [19]

4.1 Vodní roztoky

Základní složkou vodních roztoků je voda, která je nejlevnější, nejjednodušší a nejdostupnější procesní médium. Má nejlepší chladicí a čistící účinek, ale žádný mazací účinek. Voda, která je tvrdá a obsahuje prach a mikroorganismy, není vhodná. Proto se před použitím musí potřebně změkčit a chemicky upravit na požadovaný vodní roztok. Změkčování vody spočívá v proměně rozpustných vápenatých a hořečnatých solí na nerozpustné. Tyto soli se odstraňují filtrací. Vzniklý roztok musí být alkalický. Nejvyšší dovolená hodnota pH je 9 (hodnota pH určuje koncentraci vodíkových iontů ve vodním roztoku). Z toho důvodu, aby nebyl narušen ochranný nátěr stroje a nedocházelo k poškození těsnění. Tuto hodnotu pH vodního roztoku je nutné kontrolovat. Pro zlepšování vlastností vodních roztoků se musí přidávat také přísady proti korozi, pěnivosti a přísady pro zlepšování smáčivosti. [17]

4.2 Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny vytváří disperzní soustavu, která obsahuje dvě navzájem nerozpustné kapaliny. Jedna kapalina, která má tvar malých kapek, je rozptýlena v druhé kapalině. Kapalina, která tvoří kapky, se nazývá disperzní fáze. Druhá kapalina se nazývá disperzní prostředí. Nejčastěji se jedná o olej a vodu. Za disperzní fázi můžeme považovat olej a za disperzní prostředí vodu. Takto zvolené emulze se nejčastěji využívají u třískového obrábění.

Množství oleje ve vodě se volí podle zvyšujících požadavků na výkon řezání. Množství oleje se udává v %. Nejčastěji je toto procento voleno mezi 2 % až 10 %. Dále se musí do emulzních kapalin přidávat emulgátory. Emulgátory jsou důležitou složkou emulzních kapalin. Určují vlastnosti, stabilizují vzniklou emulzi, zmenšují povrchové napětí a vytváří rovnoměrný povlak na rozhraní oleje a vody. Chladicí účinek těchto kapalin je závislý na procentu koncentrace. Při zvyšování chladicí účinek klesá, mazací účinek stoupá a zvyšuje se smáčecí schopnost a ochrana proti korozi. S rostoucí koncentrací stoupá i hodnota pH. Zde platí také, že maximální hodnota pH musí být 9. Emulzní kapaliny jsou nejpoužívanější procesní média. [17]

4.3 Mastné oleje a tuky

Jsou to látky na bázi rostlinného a živočišného původu. Mají podobné vlastnosti jako minerální oleje. Vynikají však lepší smáčivostí. Díky tomu lépe odvádí vzniklé teplo z místa řezu. Nevýhodou těchto látek je jejich rychlé stárnutí. Při stárnutí dochází ke tvorbě pryskyřičných látek, a stoupá kyselost. Při třískovém obrábění se nejčastěji používají oleje řepkové, ricinové a lněné. [19]

4.4 Ropné oleje

Jedná se o výrobky, které jsou vyrobeny z ropy. Oleje mají výborný mazací účinek, dobrý ochranný účinek proti korozi a velmi dobrou odolnost proti stárnutí. Dobrá odolnost proti stárnutí je dosažena díky tomu, že tyto oleje neobsahují vodu, která je nositelem bakterií. Chladicí účinek je malý. Tyto oleje se používají převážně u obrábění nízkouhlíkových ocelí, měkkých neželezných kovů a jejich slitin. Využívají se při nízkých řezných rychlostech. [21]

4.5 Řezné oleje

Řezné oleje vznikají zušlechťováním minerálních olejů. Do těchto olejů se přidávají různé přísady. Mezi tyto přísady patří mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva. Přísady přispívají ke zvýšení mazacích vlastností a vyšší tlakové únosnosti. Mastné látky jsou zmydelnitelné přísady. Mezi tyto přísady patří mastné oleje, mastné kapaliny a syntetické estery. Zmiňované přísady mají za úkol zvyšovat přilnavost oleje a zlepšovat

mazací účinek. Organické sloučeniny jsou sloučeniny některých prvků. Mezi tyto prvky ředíme síru, chlor a fosfor. Tato kombinace se považuje za nejúčinnější. Vyprodukují na povrchu obráběného předmětu malou vrstvu kovových mýdel. Vzniklé mýdla ulehčují kluzný pohyb při tření. Taktéž zabraňují svařování těchto ploch. Za nejúčinnější se považuje kombinace síry, chloru a fosforu. Pevná maziva jsou použita do řezných olejů jako přísady. Díky své afinitě ke kovům vzniká mezní vrstva, která je odolná vůči tlaku a zvyšuje mazací schopnost oleje. Do pevných maziv řadíme grafit a sirník molybdenu. Tyto látky nejsou rozpustné v kapalinách. [5]

4.6 Syntetické a polysyntetické kapaliny

Tyto kapaliny patří mezi novější druhy řezných kapalin. Kapaliny jsou ředitelné vodou. Za kladné vlastnosti můžeme považovat dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. Taktéž tyto kapaliny mají velmi dobrou provozní stálost. Používají se při obrábění vysokými rychlostmi. Syntetické kapaliny jsou kapaliny, které neobsahují olejovou složku. Kapaliny jsou složeny z rozpouštědel – glykolů, které se ve vodě rozpouští nebo emulgují. Tyto kapaliny jsou vhodnější než kapaliny na bázi oleje. Jsou ekonomičtější, dobře odvádí teplo z místa řezu a jsou jednoduché na přípravu. Polysyntetické kapaliny vznikají rozptýlením oleje v syntetických kapalinách. Olejové částice, které jsou rozptýleny v těchto kapalinách, jsou menší než olejové částice v emulzích. Tím tyto kapaliny získávají lepší mazací účinek. [5]

Tabulka 1 - Přehled doporučených řezných kapalin pro různé metody obrábění [19]

Metoda obrábění	Ocel			Litina	Nikl a jeho slitiny	Bronz a mosaz	Měď a slitiny	Hliník a slitiny	Hořčík a slitiny
	nízko-uhlíková	s vyšším obsahem uhlíku	nerez oceli						
Soustružení	D 3	D 5	D 10	-	E	D 3	D 3	D 3	B
Vrtání a vystružování	E, D 10	F	J	D 5	E	B	B	B	B
Frézování	D 5	D 5	D 10	D 5	F	B	D 3	D 3	B
Řezání závitů	H	J	J	D 10	J	C	B	C	B
Válcování závitů	F	F	F	-	-	C	A	B	A
Řezání pilou	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	B
Výroba ozubení	E	F	J	D 5	-	B	-	-	-
Protahování	J	J	J	D 10	J	C	B	C	B
Broušení	D 2	D 2	D 2	D 2,5	D 2	D 2	D 2	D 2	B
Broušení závitů	J	J	J	-	-	C	-	C	C

A – Minerální oleje

B – mastné oleje

C –maštěné oleje s přísadami

D – Emulze (číslo značí koncentraci v %)

E – minerální oleje s přísadami

F – lehké minerální oleje s přísadami

H – oleje aditivované

J – maštěný olej s přísadami

5. Způsob přívodu procesního média do místa řezu

Místo, směr a množství přívodu procesního média do místa řezu má vliv na parametry řezného procesu. Způsob přívodu procesního média závisí na tom, jaký účinek média má převládat, jestli chladicí nebo mazací. Pokud má převládat chladicí účinek, směr proudu procesního média by měl směřovat na kořen třísky. Tady vzniká největší teplo při obrábění. Pokud má mít procesní médium spíše mazací účinek, směr proudu by měl směřovat pod hřbetní plochu nástroje. Při procesu obrábění by procesní médium nemělo být přerušováno, aby nedocházelo k výkyvu teplot. [17]

5.1 Standardní chlazení

Tento způsob chlazení patří mezi nejjednodušší způsob. Nevyžaduje žádnou speciální úpravu potrubí, kterým je přiváděno médium do místa řezu. Tento základní typ chlazení je dodáván výrobcem stroje. Standardní chlazení je tvořeno nádrží, čerpadlem a rozvodním potrubím. Množství média přiváděného do řezu se ovlivňuje škrticím ventilem a také typem čerpadla. [5]

5.2 Chlazení tělem nástroje

U tohoto typu chlazení se využívá maximálního využití procesního média. Procesní médium se přivádí tělem nástroje přímo na břit. Umožňuje zvýšení řezné rychlosti o 5 % až 15 %. Při zvýšení tlaku média dochází k zvýšení odvodu tepla i vzniklých třísek. Využívá se při technologii soustružení, frézování a vrtání. U frézování a vrtání procesní médium přichází ke každému břítu po celé dráze nástroje. Při tomto použití chlazení musí být speciálně upraveny držáky nástrojů, kterými přichází procesní médium. U vrtáků je kapalina přiváděna centrálními otvory v nástroji. Tento typ chlazení se využívá u všech typů nástrojů. [5]

5.3 Tlakové chlazení

Vlivem vysokého tlaku procesního média dochází k většímu přívodu média do místa řezu a účinně odplavuje vzniklé třísky. Průměr trysky, kterou přichází procesní médium, je zhruba $0,3 \text{ mm} \div 1,0 \text{ mm}$. Tlak, který prochází tryskou je asi $0,3 \text{ MPa} \div 3,0 \text{ MPa}$. Musíme dbát na technické parametry čerpadla, aby médium bylo přiváděno do místa řezu pod

požadovaným tlakem. Chlazení se nejčastěji používá tam, kde má teplo nepříznivý vliv na trvanlivost nástroje. Nevýhodou tohoto chlazení je, že médium, které je přiváděno za vysokého tlaku, se rozstříkuje a tvoří mlhu. Tím vznikají zvyšující se náklady na médium. Použití tlakového chlazení je nákladné, z důvodu vysoké pořizovací ceny. [5]

5.4 Podchlazování řezné kapaliny

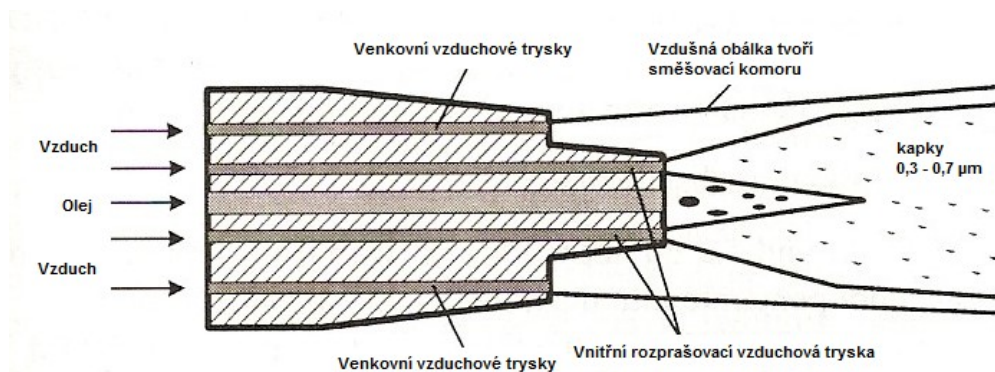
Jedná se o podchlazení procesního média na teplotu menší než okolní teplota. Tím zvýšíme chladicí schopnost médií. Běžně používané média mají teplotu kolem 40 °C. Podchlazením snížíme teplotu u emulzí na 5 °C až 10 °C a u olejů na 15 °C až 20 °C. Tím docílíme snížení teploty v místě řezu o 75 °C až 100 °C. Při nižším ochlazení dochází u olejů k nepříznivému houstnutí. U emulzí dochází ke stoupání viskozity. Při podchlazení pod bod mrazu, zvyšujeme výkon řezání, ale procesní média se musí upravit dalšími přísadami. Největší efektivnost podchlazení procesního média je při procesu hrubování, kde dochází k velkým teplotám. Podchlazená média se používají tam, kde je požadavek na velkou rozměrovou přesnost a kde neměnná teplota procesních médií omezí rozptyl požadovaných rozměrů. [17]

5.5 Ostatní druhy chlazení

5.5.1 MQL (Minimum Quantily Lubrication)

Chlazení systémem MQL (Minimum Quantily Lubrication). Jde o chlazení s využitím maximálního účinku procesního média s minimálním množstvím média. Na obrázku č. 2.8 je zobrazeno schéma trysky. Médium je rozptýleno v proudu vzduchu ve formě kapek. Jde o kapky, které jsou zhruba 0,5 µm velké. Tato hodnota se považuje za optimální. Médium, které obsahuje vzduch a kapky média, se nazývá aerosol. Aerosol se přivádí mezi nástroj a obrobek, kde vytváří souvislou vrstvu. Dodávané médium je při vyhovujícím nastavení zcela zužitkováno a nezůstávají žádné zbytky. [17]

Při tomto druhu chlazení dochází ke snížení nákladů na médium a odpadají náklady na jeho odstranění. Toto chlazení umožňuje vyšší produktivitu. Do vyšší produktivity můžeme zahrnout zřetelné snížení obráběcího času, vyšší účinnost obrábění, a také prodloužení životnosti nástroje.

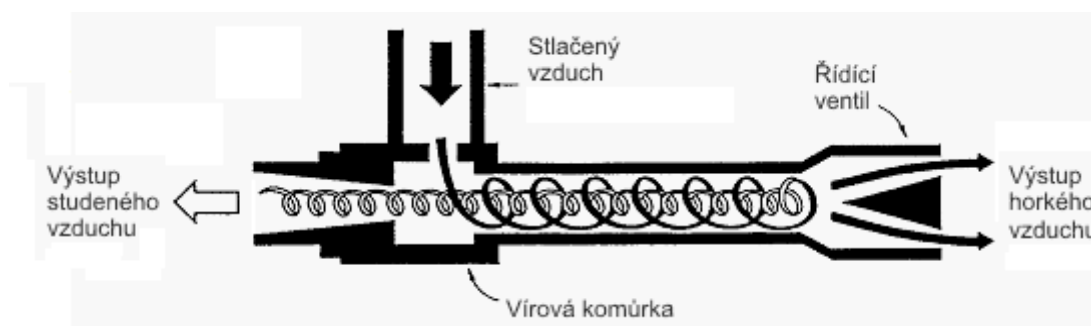


Obr. 2.8 – Schéma trysky [27]

5.5.2 Vírová trubice

Mezi další chlazení můžeme zařadit chlazení pomocí vírové trubice (obrázek č. 2.9). Tento princip byl objeven v roce 1928, francouzským fyzikem Georges Ranque. Jde o jednoduché zařízení, které není ještě dostatečně teoreticky ujasněno. Jedná se o vzduch, který přichází do komůrky (část trubice), o tlaku 0,7 MPa a teplotě 20 °C. V této části vzduch rotuje velkou rychlostí k horké trysce. Dosahovaná rychlost rotace vzduchu je až $1\,000\,000\text{ min}^{-1}$. Při této rotaci část vzduchu odchází přes jehlový ventil. Odcházející vzduch dosahuje teploty až + 100 °C. Vzduch, který neodchází, je tlačěn středem proudu vzduchu na opačnou stranu. Zde vystupuje jako studený vzduch, který dosahuje teploty až – 46 °C. [22]

Princip metody se využívá tam, kde nemůžeme použít procesní média. Využívá se při chlazení nástrojů při obrábění (převážně u dokončování), při svařování, při řezání papírových krabic a mnoha dalších. Teplý vzduch, který odchází přes jehlový ventil, se využívá např. při vysoušení vzorků, testování teplotních senzorů atd.. Existuje velké množství využití této trubice.



Obr. 2.9 Vírová trubice [22]

6. Návrh a realizace experimentální činnosti

6.1 Návrh experimentální činnosti

Experimentální činnost se zabývá vlivem procesních médií na drsnost povrchu při vrtání hlubokých otvorů. Je navrženo vrtat 50 otvorů při přívodu každého zkoušeného procesního média. Otvory jsou vrtány do shodného materiálu shodným nástrojem za shodných pracovních podmínek. Všechny otvory jsou průchozí.



Obr. 3.0 – Vrtané otvory v materiálu

Nástroje jsou vybrány od firmy Gühring. Jedná se o německou firmu, která se zabývá výrobou nástrojů pro soustružení, frézování, vrtání a závitování. Firma také vyrábí upínače pro tyto nástroje.

Materiál obrobku je 22 K. Tento materiál je jedním z nejpoužívanějších pro výrobky do energetického průmyslu. Toto odvětví průmyslu je také jedním z častých žadatelů o zhotovení hlubokých otvorů.

Procesní média jsou navržena dvě. První zvolené procesní médium je Avantin 3309, druhé zvolené médium je Emulkat UNI 500 N.

Měření bylo prováděno po odvrtání všech otvorů. Otvory byly měřeny postupně od prvního otvoru až po padesátý a to v pořadí v jakém byly vrtány. Měřilo se přístrojem Surftest SJ- 210 firmy Mitutoyo.

Bylo zvoleno pouze jedno měřící se kritérium proto, aby experimentální činnost byla co nejpřesnější. Kdyby došlo k dalším měřícím se kritériím, experiment by obsahoval mnoho dalších vlivů, které by ovlivňovaly dosaženou drsnost povrchu vrtaného otvoru.

6.2 Realizace experimentální činnosti

6.2.1 Materiál obrobku

Materiál, do kterého jsou vrtány otvory, je označen jako 22 K. Materiál je označován podle různých norem. Základní normy jsou uvedeny v tabulce č. 2. Chemické složení oceli nalezneme v tabulce č. 3, mechanické vlastnosti v tabulce č. 4. Jedná se o nízkouhlíkovou ocel. Tato ocel se používá velmi často v energetickém průmyslu, nejčastěji v jaderných elektrárnách. Z této oceli jsou vyráběny díly pro kompenzátory objemu, kontejnery vyhořelého paliva, pro vysokotlaké a nízkotlaké ohříváky a díly uzavíracích armatur. Dále také díly pro potrubí jako jsou kolena a přímé trubky. Díly jsou schopny pracovat při teplotách od -40°C až do 450°C . [28]

Obrobek sloužil pouze k experimentální činnosti. Upnutí obrobku bylo zajištěno upínkami na upínací desce.

Tabulka 2 – Označení oceli [28]

Stát	Spojené státy americké	Japonsko	Německo	Anglie
Norma	-	JIS	DIN, WNR	BS
Označení	1022, K02700	SMnC420	20Mn5	120M19

Tabulka 3 - Chemické složení oceli [28]

Materiál	C [hm. %]	Si [hm. %]	Mn [hm. %]	Ni [hm. %]	S [hm. %]	Cr [hm. %]	Cu [hm. %]
22 K	0,19 - 0,26	0,17 - 0,4	0,7 - 1	0,3	0,035	0,3	0,3

Tabulka 4 – Mechanické vlastnosti oceli [28]

Mez pevnosti R_m [MPa]	430 - 620
Mez kluzu R_e [MPa]	440

6.2.2 Stroj

Otvory jsou vrtány na obráběcím centru FUQ 125. Výrobce je TOS KUŘIM. V tabulce č. 5 jsou zobrazeny základní technické parametry tohoto stroje. Stroj je vyobrazen na obrázku č. 3.1.



Obr. 3.1 – Stroj FUQ 125 [29]

Tabulka 5 – Technické parametry stroje FUQ 125 [29]

Hmotnost stroje	25 800 - 52 200 kg	
Pracovní zdvih	podélný X	2 000 – 20 000 mm
	příčný Y	1250 – 1500 mm
	svislý Z	1400 – 2200 mm
Rozsah posuvu v osách X, Y, Z	1 -20 000 mm·min ⁻¹	
Výkon hlavního motoru	37 kW	
Celkový příkon stroje	50 kVA	
Max. počet nástrojů v zásobníku	60	
Max. hmotnost nástroje	25 kg	
Max. délka nástroje	340 mm	

Mezi přednosti tohoto stroje můžeme zařadit pinolový vřeteník, třístupňovou převodovou skříň, automatickou výměnu nástrojů, variabilní provedení upínacího prostoru, provádět dokončovací operace 5-ti osým obráběním, obrábění z 5 stran, osové chlazení nástroje a mnoho dalších. [29]

Procesní média v tomto stoji jsou umístěna v nádržích o velikosti 560 l, 180 l a 80 l. Nádrž o velikosti 560 l slouží pro standardní chlazení. Nádrž je opatřena otvorem pro dolévání média. Nad touto nádrží se nachází nádrž o velikosti 180 l, která slouží pro tlakové chlazení. Pomocí čerpadla je médium neustále přiváděno ze spodní nádrže do horní. Horní nádrž je opatřena přepadem. Pokud je média v horní nádrži více než 180 l, samovolně přepadává do spodní nádrže. Třetí nádrž zachycuje médium, které bylo již použito. Nazývá se sběrná nádrž. Obsah nádrže je 80 l. Odtud se médium odvádí pomocí čerpadla přes filtrační zařízení a vrací se do spodní nádrže. Celkový obsah nádrží je 820 l.

Maximální délka nástroje je uvedena 340 mm. Tato délka je maximální při automatické výměně nástrojů. V našem případě výměna nástroje je kvůli velké délce prováděna ručně.

6.2.3 Nástroje

- **Pilotní vrták**

Navrtání pilotního otvoru bylo zhotoveno nástrojem od firmy Gühring (Obr. 3.2). Základní informace o tomto nástroji jsou uvedeny v tabulce č. 6. Tento nástroj se vyrábí od průměru 3 mm až do průměru 20 mm. Procesní médium je přiváděno tělem nástroje. Upnutí nástroje bylo provedeno pomocí hydraulického upínače. Hloubka navrtání pilotního otvoru byla stanovena na 25 mm, tedy $1,5 \times D$.

Tab. 6 – Základní vlastnosti pilotního vrtáku [30]

Objednací číslo	5511
Norma	DIN 6537 L
Řezný materiál	Monol. TK
TK aplikační skupina	K / P
Povlak	FIRE
Typ	RT 100 U
Max. hloubka vrtání	$5 \times D$
Směr řezu	Pravořezný
Tolerance průměru	m7



Obr. 3.2 – Pilotní vrták [30]

- **Šroubový vrták**

Zvoleným nástrojem pro vrtání hlubokých otvorů je šroubový vrták od firmy Gühring. Jedná se o vrták, který kvůli své nestandardní délce musel být vyroben na zakázku. Celková délka vrtáku je 527 mm. Proto také tento vrták nenajdeme v žádném katalogu výrobků. Označení tohoto nástroje je SOBO 302 677 698. Jedná se o firemní označení, právě těchto nestandardních nástrojů. Výkresová dokumentace nástroje je přiložena v příloze A. Základní informace šroubového vrtáku jsou v tabulce č. 7. Procesní médium bylo přiváděno tělem nástroje. Upnutí nástroje bylo zajištěno pomocí hydraulického upínače.

Tabulka 7 – Základní informace o šroubovém vrtáku

Objednací číslo	SOBO 302 677 698
Řezný materiál	SK monolit.
SK aplikační skupina	K / P
Povlak	TiAlN
Směr řezu	Pravořezný
Tolerance průměru	m7

6.2.4 Řezné parametry

Na řezné parametry šroubového vrtáku SOBO 302 677 698 dohlíželi technologové z Vítkovice Heavy Machinery a.s a aplikační technik od firmy Gühring. Aplikační technik také kontroloval technický stav stroje, použitých přípravků a celý průběh procesu vrtání. Řezné parametry pro vrtání byly zvoleny podle tvaru a velikosti vznikající třísky. Hodnoty těchto řezných parametrů jsou zobrazeny v tabulce č. 8 a byly určeny podle technologů a aplikačního technika jako optimální. Při těchto zvolených řezných parametrech vznikala správná velikost a tvar třísky. Posuvová rychlost pro vyjždění nástroje z obrobku byla stanovena na $4\,000\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Tabulka 8 – Zvolené řezné parametry

	Najíždění	Vrtání
Otáčky [min^{-1}]	200	1550
Posuvová rychlost [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$]	600	490

6.2.5 Měření drsnosti

Po odvrtání všech otvorů byl obrobek vyjmut z upínacího zařízení, řádně očištěn zbaven zbylých nečistot. Otvory jsou měřeny ve stejném pořadí jako byly vrtány. Každý otvor byl změřen třikrát. Naměřené hodnoty jsou v μm . Z těchto hodnot byl vypočten aritmetický průměr a hodnota byla zapsána do tabulky.

Měření bylo prováděno přístrojem Surftest SJ- 210 firmy Mitutoyo. Přístroj je vyobrazen na obrázku č. 3.3. Jedná o přístroj, který je konstruován pro použití ve výrobním prostředí. V tabulce č. 9 jsou základní technické parametry přístroje.

Tabulka 9 – Základní technické parametry měřícího přístroje Surftest SJ- 210 [4]

Rychlost měření	0,5 mm/s
Materiál dotyku	Diamant
Úhel snímacího hrotu	60°
Poloměr snímacího hrotu	2 μm
Měřicí síla spínače	0,75 mN
Hmotnost	500 g
Měřené parametry drsnosti	Ra, Rz, Ry, Rz, Rt, Rmax, Rp atd.



Obr. 3.3 – Přístroj na měření drsnosti povrchu Surftest SJ- 210 [4]

6.2.6 Procesní média

Obě procesní média byla přiváděna tělem nástroje. Naměřená hodnota tlaku na výstupu z čerpadla byla 20 bar (2 Mpa). Tento tlak je u všech vrtaných otvorů shodný.

- **Avantin 3309**

Jako první procesní médium byl zvolen Avantin 3309. Koncentrace tohoto média pro experiment byla zvolena 12 %. Jedná se o médium, které je na bázi emulze. Je velmi vhodné pro těžké a velmi těžké obrábění. Do této kategorie můžeme zařadit protlačování, obrábění válcových trubek, broušení a vrtání hlubokých otvorů. Vyznačuje se především dobrou kvalitou povrchu a dobrými výsledky při obrábění. Také se může přidávat do běžných emulzí jako aditivum.

V tabulce č. 10 jsou naměřené hodnoty drsnosti povrchu otvoru při použití média Avantin 3309.

Tabulka 10 – Naměřené hodnoty drsnosti povrchu při přívodu procesního média Avantin 3309

Vrtaný otvor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Naměřená drsnost povrchu Ra [μm]	1,65	1,89	2,31	1,71	2,38	1,77	1,89	1,71	1,78	2,09

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2,32	1,96	1,68	2,03	2,25	2,36	2,11	1,87	1,65	1,76

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1,89	2,25	2,4	2,35	2,28	2,16	1,92	1,85	1,96	1,75

31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1,73	1,6	1,82	1,65	1,94	2,08	2,16	1,93	2,24	2,34

41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
2,28	2,18	1,86	1,97	2,4	1,9	2,25	2,06	1,86	1,95

- **Emulkat UNI 500 N**

Jako druhé procesní médium byl zvolen Emulkat UNI 500 N. Toto procesní médium bylo přiváděno do místa řezu v koncentraci 15 %. Médium je také na bázi emulze. Toto médium se vyznačuje dobrým chladícím i mazacím účinkem.

V tabulce č. 11 jsou uvedeny naměřené hodnoty drsnosti povrchu otvoru při přívodu procesního média Emulkat UNI 500 N.

*Tabulka 11 – Naměřené hodnoty drsnosti povrchu při přívodu procesního média
Emulkať UNI 500 N*

Vrtaný otvor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Naměřená drsnost povrchu Ra [μm]	1,76	3,83	2,88	5,14	5,13	4,6	5,05	4,9	3,85	4,78

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3,09	3,26	4,6	3,27	4,37	5,08	2,58	3,66	4,77	3,65

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2,49	4,67	4,26	3,24	2,6	2,86	3,02	3,14	3,39	3,25

31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1,71	5,54	3,38	6,3	3,6	3,31	2,53	3,02	2,55	2,43

41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
2,36	4,07	3,78	5,32	5,3	3,65	3,89	2,56	2,95	3,92

7. Technicko-ekonomické zhodnocení

Technicko-ekonomické zhodnocení se zabývá dosaženými výsledky z experimentu a je shrnuto na součást, pro kterou byl experiment určen. Jedná se o součást ze shodného materiálu, shodné hloubky vrtaného otvoru. Otvory byly vrtány stejným nástrojem. Na této součásti je zadáno vrtat 7 700 otvorů. Hlavním požadavkem je drsnost povrchu vrtaného otvorů, která nesmí překročit hodnotu $Ra\ 3,2\ \mu m$. Experiment byl proveden pouze pro 50 otvorů a to kvůli finanční náročnosti. Z hlediska technického bylo 50 otvorů dostačujících pro zjištění dosahované drsnosti povrchu při přívodu obou procesních médií.

Z výsledků měření drsnosti povrchu vyplývá, že u použitého procesního média Avantin 3309 je dosažená drsnost povrchu u všech otvorů vyhovující. Hodnoty se pohybují v rozmezí od $Ra\ 1,6\ \mu m$ do $Ra\ 2,4\ \mu m$. Při použití média Emukat UNI 500 N se naměřené hodnoty drsnosti povrchu otvorů pohybují v rozmezí od $Ra\ 1,71\ \mu m$ do $Ra\ 6,3\ \mu m$. Některé otvory nevyhovují maximální dovolené hodnotě drsnosti povrchu $Ra\ 3,2\ \mu m$. Při použití tohoto média bude nutné použít jednu z dokončovacích metod obrábění.

Dále stojí za povšimnutí u Emukatu UNI 500 N velký rozdíl naměřených hodnot drsnosti. Například u 31 otvoru, kdy je naměřena hodnota $Ra\ 1,71\ \mu m$ a u otvoru 32 je naměřena hodnota $Ra\ 5,54\ \mu m$. Přestože byl proveden rozbor podmínek vrtání, nebylo možné stanovit příčiny rozdílu v dosažené drsnosti povrchu.

Nástroj byl vždy po odvrtání 10 otvorů kontrolován aplikačním technikem firmy Gühring. Bylo zjištěno, že při přívodu Avantinu 3309 byl nástroj po odvrtání 40 otvorů zcela v pořádku. Nedocházelo k tvorbě nárůstků ani plastické deformaci špičky nástroje. Tříska vznikala elementární a správně odcházela spirálovými drážkami. Po kontrole nástroje po odvrtání všech 50 otvorů aplikační technik usoudil, že nástroj je schopen odvrtat ještě dalších 30 otvorů bez poškození nástroje nebo obrobku. Závěrečné zhodnocení znělo, že nástroj dokáže vyvrtat 80 otvorů, aniž by hrozila možnost zlomení nástroje v otvoru.

Při přívodu Emukatu UNI 500 N byl také nástroj kontrolován. Po odvrtání 20 otvorů nedocházelo u nástroje k tvorbě nárůstků ani plastické deformaci špičky nástroje. Tříska vznikla elementární. Zhoršení bylo detekováno při kontrole nástroje po odvrtání 30 otvorů. Tříska vznikala také elementární, ale docházelo k otupení hlavního ostří nástroje. Po odvrtání 40 otvorů bylo otupení hlavního ostří velké a aplikační technik nedovolil dále v pokračování vrtání tímto nástrojem. Nástroj musel být přeastřen nebo vyměněn. Byla zvolena výměna nástroje. Vyměněným nástrojem bylo odvrtáno 10 děr. Závěrečné zhodnocení znělo, že nástroj je schopen odvrtat 40 otvorů aniž by došlo ke zlomení nástroje v otvoru. Podle otupení nástroje technik usoudil, že nástroj je schopen odvrtat všech 50 otvorů, ale pro posledních 10 otvorů hrozí velké riziko zlomení nástroje. Zlomením nástroje

v hlubokém otvoru vzniká neopravitelný zmetek a finanční hodnota tohoto zmetku je příliš velká, proto takové riziko nemůže být připsáno.

7.1 Ekonomické zhodnocení při přívodu média Avantin 3309

Hlavními veličinami hodnocení jsou cena a počet nástrojů, hodinová sazba stroje a cena média. Tyto veličiny byly určeny jako hlavní kritéria pro srovnání. U Avantinu 3309 je dosahovaná drsnost povrchu otvoru menší než požadovaná, proto zde neuvažujeme s žádnou dokončovací metodou obrábění. Základní ceny komponentů jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Tabulka 12 – Ceny základních komponentů

Položka	Cena
Hodinová sazba stroje	1 100 Kč
Nástroj (šroubový vrták)	18 000 Kč
Procesní médium (Avantin 3309)	220 Kč za kg

Cena média je uváděna výrobcem za kilogram. Výrobce také udává přepočty kilogramů na litry. Přepočty zní, že 1 kg média je 1,03 l až 1,05 l. Při koncentraci 12 % kapaliny je potřeba 98,4 l Avantinu 3309. Ředění kapaliny bylo prováděno vodou bez úprav.

Cena nestandardních nástrojů je velmi vysoká. Pořizovací hodnota jednoho nástroje je 20 000 Kč. Při odběru více jak 50 kusů nástrojů, výrobce poskytuje slevu. S touto slevou se dostáváme na hodnotu 18 000 Kč za jeden kus.

Hodinová sazba stroje ve firmě Vítkovice Heavy Machinery a.s. je pro srovnávací výpočet stanovena na 1100 Kč za 1 hodinu. Provoz je v této firmě při zakázkách nepřetržitý. Z toho čistý čas, kterým můžeme na stroji vrtat je zhruba 18 hodin denně. Tato hodnota byla doplněna technologem z Vítkovice Heavy Machinery a.s. z minulých experimentů. Zbytek jsou povinné přestávky a vedlejší časy. Mezi vedlejší časy patří kontrola otvorů, kontrola nástrojů, výměna nástrojů a měření.

Časy, které jsou potřebné pro zhotovení otvorů, jsou zobrazeny v tabulce č. 13. Čas vrtání jednoho otvoru zahrnuje vyvrtání pilotního otvoru a vrtání šroubovým vrtákem SOBO 302 677 698. Čas vrtání pilotního otvoru je určen z posuvové rychlosti, která byla stanovena pro najíždění $490 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, pro vrtání $690 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ a pro vyjetí nástroje z obrobku $4000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Počet šroubových nástrojů SOBO 302 677 698 potřebných pro zhotovení je zobrazen v tabulce č. 14. Celkové ekonomické zhodnocení je uvedeno v tabulce č. 15.

Tabulka 13 – Časy potřebné ke zhotovení otvorů

	Vrtání 1 otvoru	Vrtání 7700 otvorů	
Čas vrtání	1,11 min	8 547 min	143 h

Tabulka 14 – Počet nástrojů

	Vrtání 960 otvorů (1 den)	Vrtání 7700 otvorů
Počet kusů nástrojů	12	97

Tabulka 15 – Celkové ekonomické zhodnocení

	Vrtání 7700 otvorů	Základní cena	Výsledná cena
Celkový potřebný čas k vrtání	143 h	1 100 Kč	157 300 Kč
Cena šroubových vrtáků	97 nástrojů	18 000 Kč	1 746 000 Kč
Procení médium	98,4 l	212 Kč za l	20 861 Kč
		celkem	1 924 161 Kč

Uvedené ekonomické zhodnocení bylo provedeno pro jednu součást. Pokud by v zakázce bylo součástí více, můžeme snížit cenu nástrojů tím, že nástroje po odvrtání 80 otvorů necháme přebrousit. Doba celkové zakázky přebroušení nástrojů je 14 dnů. Nástroje se nejdříve musí odpovlakovat, pak následuje přebroušení a nakonec povlakování. Hodnota přebroušení nástroje při 10 kusech je 2 000 Kč/ks, při přebroušení více jak 50 kusů je cena 1 200 Kč/ks. V případě pro jednu vrtanou součást je přebroušování nevhodné, protože by došlo k odstavení stroje po dobu zakázky přebroušení nástrojů.

Při vrtání více součástí by cena narostla ještě o spotřebu procesního média. Médium by muselo být doplňováno v průběhu obrábění. Z předešlých experimentů bylo zjištěno, že po dobu 9 dnů obrábění bylo do stroje doléváno zhruba 1000 l vody a 8 l až 10 l média Avantin 3309.

7.2 Ekonomické zhodnocení při přívodu média Emulkat UNI 500 N

Hlavní kritéria pro srovnání jsou stejné jako u Avantinu 3309. Jedná se o cenu a počet vrtáků, hodinovou sazbu stroje a cenu procesního média. U Emulkatu UNI 500 N musíme do kritérií ještě zahrnout jednu z dokončovacích metod obrábění. Z důvodu vysoké drsnosti povrchu vrtaného otvoru. Některé otvory dosahovaly menší drsnost povrchu než Ra 3,2, ale z důvodu zvýšení vedlejšího času na měření a s tím vzniklé odstávky stroje, budou všechny otvory dokončovány.

Cena média je 80 Kč za litr. Koncentrace tohoto média byla zvolena 15 %. Pro tuto koncentraci je potřeba 123 litrů média Emulkat UNI 500 N. Médium bylo ředěno vodou bez úprav.

Jako dokončovací metoda je zvoleno vystružování. Proto musíme zahrnout do zhodnocení cenu upínače, vystružovací hlavice a čas vystružování. Upínač musíme použít z důvodu maximální házivosti 0,005 mm. Tuto házivost zajistí tepelný upínač. Základní potřebné položky komponentů nalezneme i s cenami v tabulce č. 16.

Tabulka 16 – Ceny základních komponentů

Položka	Cena
Hodinová sazba stroje	1 100 Kč
Nástroj (šroubový vrták)	18 000 Kč
Procesní médium (Emulkat UNI 500 N)	80 Kč za litr
Tepelný upínač	19 740 Kč
Vystružovací hlavice	4 520 Kč

Hodinová sazba stroje i cena šroubového vrtáku je stejná jako u Avantinu 3309. Stejně tak i určené hodnoty času vrtání, které jsou v tabulce č. 13. Počet nástrojů je vypočten ze závěru experimentální činnosti pro toto médium. Nástroj odvrtá 40 otvorů se zaručenou bezpečností a nedojde k zalomení nástroje v otvoru. Tyto hodnoty jsou vypočteny v tabulce č. 17.

Tabulka 17 – Počet použitých šroubových vrtáků

	Vrtání 960 otvorů (1 den)	Vrtání 7700 otvorů
Počet kusů nástrojů	24	193

U dokončovací operace vystružování jsou časy určeny z doporučených řezných podmínek, které udává výrobce nástrojů. Tyto hodnoty najdeme v tabulce č. 18. Časy jsou zobrazeny v tabulce č. 19. V čase vystružování jednoho otvoru je uveden čas pilotního výstružníku a výstružníku pro vystružení hlubokého otvoru.

Tabulka 18 – Řezné podmínky pro vystružování

	Najetí	Vystružování	Výjezd
Otáčky [min^{-1}]	300	700	700
Posuvová rychlost [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	90	210	1000

Tabulka 19 – Časy potřebné k vystružování

	Vystružování 1 otvoru	Vystružování 7700 otvorů	
Čas vystružování	2,96 min	22 807,4 min	381 h

Životnost vystružovací hlavice udává výrobce 60 m. Po vystružení této délky se musí hlavice vyměnit nebo přebrousit. Pro vystružení 7700 otvorů je potřeba 55 vystružovacích hlavic.

Celkové ekonomické zhodnocení pro přívod média Emulkat UNI 500 N je zobrazeno v tabulce č. 20.

Tabulka 20 – Celkové ekonomické zhodnocení pro Emulkat UNI 500 N

	7700 otvorů	Základní cena	Výsledná cena
Celkový potřebný čas k vrtání	143 h	1 100 Kč	157 300 Kč
Celkový potřebný čas k vystružování	381 h	1 100 Kč	419 100 Kč
Cena šroubových vrtáků	193 ks	18 000 Kč	3 474 000 Kč
Cena vystružovacích hlavic	55 ks	3 980 Kč	218 900 Kč
Tepelný upínač	1 ks	19 740 Kč	19 740 Kč
Procení médium	123 l	80 Kč za 1 l	9 840 Kč
		celkem	4 298 880 Kč

Toto ekonomické zhodnocení bylo provedeno také pouze pro jednu součást. Při více kusech by se cena dala snížit přebroušením šroubových vrtáků a přebroušením vystružovacích hlavic. Tak jako se snižovala pořizovací hodnota šroubových vrtáků při odběru více kusů, tak se snižuje i hodnota vystružovacích hlavic. Cena při odběru 10 kusů je 4 520 Kč/ks a při odběru více jak 20 kusů je cena 3 980 Kč/ks.

Cena by narostla ještě o spotřebu média. Z předešlých experimentů bylo zjištěno, že při obrábění po dobu 9 dnů se do stroje doplnilo 1000 l vody a 15 l až 20 l média Emulkat UNI 500 N.

Závěr

Cílem bakalářská práce bylo porovnání dvou procesních médií a jejich vliv na dosahovanou drsnost povrchu při vrtání hlubokých otvorů. Média byla zvolena Avantin 3309 a Emulcat UNI 500 N. Otvory byly zhotoveny šroubovým vrtákem celkové délky 527 mm. V experimentální části bylo zjištěno, že při přívodu Avantin 3309 nástroj odvrtá vyšší počet otvorů než dojde k otupení hlavního ostří a dosahovaná drsnost povrchu se pohybuje od $Ra\ 1,6\ \mu m$ do $2,4\ \mu m$. Při přívodu Emulkatu UNI 500 N odvrtá nástroj nižší počet otvorů z důvodu opotřebení na hlavním ostří a dosahovaná drsnost povrchu se pohybuje od $Ra\ 1,71\ \mu m$ do $6,3\ \mu m$.

Technicko-ekonomické zhodnocení je provedeno na součásti pro kterou byl experiment určen. Jedná se o součást, na které je počet otvorů stanoven na 7700. Hlavní kritéria hodnocení byla cena a počet nástrojů, hodinová sazba stroje a cena média. Maximálně dovolená drsnost povrchu vrtaného otvoru na součásti je $Ra\ 3,2\ \mu m$.

Při přívodu Emulkatu UNI 500 N je v některých otvorech naměřená hodnota drsnosti povrchu vyšší, proto zde musíme zahrnout jednu z dokončovacích metod obrábění.

Z hodnocení vyplývá, že výrobní cena 7700 otvorů při přívodu Avantin 3309 je 1 924 161 Kč a při přívodu Emulkatu UNI 500 N je cena 4 298 880 Kč.

Na základě dosažených výsledků z experimentální části a z technicko-ekonomického zhodnocení doporučuji pro součást, na které je vrtáno 7700 otvorů procesní médium Avantin 3309.

Médium je vhodnější z hlediska technického i ekonomického. Díky tomu, že nástroj odvrtá vyšší počet otvorů, než dojde k otupení hlavního ostří. S tím souvisí i nižší počet nástrojů na zhotovení otvorů. Dosahovaná drsnost vrtaných otvorů vyhovuje požadované drsnosti, proto nemusíme volit jednu z dokončovacích metod obrábění. I přes vyšší pořizovací cenu média Avantin 3309 je výrobní proces ekonomičtější.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat paní Ing. et Ing. Mgr. Janě Petřů, Ph.D. a panu Ing. Antonínu Trefilovi za cenné rady a připomínky při vypracování mé bakalářské práce, a také za ochotu a trpělivost při konzultacích.

Seznam použité literatury

- [1] *PRAKTIK* [online]. 2009 [cit. 2012-10-08]. Dostupné z:
http://praktik.pvsp.cz/download.php?t=n&src=archiv_pdf_2009%2F2009_02_38.pdf.
- [2] BILÍK, Oldřich. *Obrábění I 1díl.*, Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2001, s. 136. ISBN 80-7078-811-9.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2: díl.* Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [4] Drsnoměry Surftest SJ-210. *Mitutoyo: Katalog přístrojů 2012/2013* [online]. 2012 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://www.mitutoyo.cz/ebook/index-cz.html#/532/zoom>
- [5] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl.*, Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [6] BORO VAN, P. Řezné nástroje (9). *Technický týdeník*. 2011, č. 9. Dostupné z:
http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/rezne-nastroje/rezne-nastroje-9_8521.html.
- [7] MRKVICA, I. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů – 1. část*. Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 3. vydání, 2008, 148 s. ISBN 978-80-248-1053-9.
- [8] STIMZET M&V, spol. s r.o.: Divize PROSTIMZET PLUS. *PVD povlakování nástrojů STIMZET* [online]. 2009 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z:
http://www.stimzet.cz/data/povlakovani_cz.html.
- [9] BOSMAN, O. Vrtání hlubokých otvorů na obráběcích centrech. *MM průmyslové spektrum*. 2006, č. 7. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vrtani-hlubokych-otvoru-na-obrabecich-centrech.html>.
- [10] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I. TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ –2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf.
- [11] Zásady hlubokého vrtání. *CRStools* [online]. 2008 [cit. 2013-04-01]. Dostupné z:
<http://www.crstools.cz/vrtani-t-a-system/zasady-hlubokeho-vrtani/>.
- [12] BĚLÍN, Z. Vrtání hlubokých otvorů. *MM průmyslové spektrum*. 2011, č. 5. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/vrtani-hlubokych-otvoru.html>.
- [13] Pokrokové řezné nástroje. *MM průmyslové spektrum*. 2005, č. 5. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/pokrokovre-rezne-nastroje.html>.
- [14] KLEČATSKÝ, Z. Dělové vrtáky i speciální nástroje. *MM průmyslové spektrum*. 2007, č. 3. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/delove-vrtaky-i-specialni-nastroje.html>.

- [15] VMsystem: micro lubrication. *Technologie pro dělové vrtání* [online]. 2007 [cit. 2012-11-08]. Dostupné z: <http://www.vmsystem.eu/technologie-pro-delove-vrtani.html>.
- [16] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxe*
- [17] ČILLIKOVÁ, M., J. PILC a D. STANČEKOVÁ. *REZNÉ KVAPALINY A ICH APLIKÁCIE*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2005. ISBN 80-8070-428-7.
- [18] OŠEROVÁ, R. N.: *Příprava a použití řezných kapalin při obrábění kovů*, Praha, SNTL 1953.
- [19] KOČMAN, K. *Technologické procesy obrábění*. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [20] NOVÁK, Z. Výkonné řezné nástroje. *MM průmyslové spektrum*. 2012, č. 3. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vykonne-rezne-nastroje.html>.
- [21] BÉKÉS, J.: *Efektívne použitie rezných kapalin pri obrábaní*. Celoštátna konferencia, Dom techniky ČSVTS Bratislava, 1988.
- [22] PAZDERA, J. *Větrný mlýn na vodu: Vírová trubice* [online]. 2007 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=2499>.
- [23] VRTÁNÍ ZPLNA: DĚLOVÉ VRTÁKY. *WINTER servis: Hluboké vrtání BOTEK* [online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/zplna_delove.
- [24] VRTÁNÍ ZPLNA: EJEKTOROVÝ SYSTÉM. *WINTER servis: Hluboké vrtání BOTEK* [online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/zplna_ejektor.
- [25] Deep hole drilling: Product catalogue and application guide. *SANDVIK Coromant: METALWORKING PRODUCTS*.
- [26] VRTÁNÍ ZPLNA: SYSTÉM BTA. *WINTER servis: Hluboké vrtání BOTEK* [online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/zplna_bta.
- [27] DAVIM, J.P. *Machining: fundamentals and recent advances*. Aveiro: Springer, 2010. ISBN 978-1-84996-755-6.
- [28] *ELECTROVEK STEEL: Konstrukční ocel kvality: 22K* [online]. Praha, 2007 - 2013 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://www.evek.cz/grade-list-a-22k.html>.
- [29] KATALOG OBRÁBĚCÍCH STROJŮ. *TOS-KUŘIM* [online]. 2005 [cit. 2013-02-15]. Dostupné z: <http://www.tos-kurim.cz/download/vyrobní-program-CJ.pdf>.
- [30] Gühring: SuperLine. *Gühring: Katalog produktů 2012* [online]. 2012 [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: http://www.guehring.cz/data/produkty/cz_64.pdf.

Seznam příloh

Příloha A

Výkres vrtáku SOBO 302 677 698

Příloha A

21. MÄR. 2012 11:51

NR. 710 S. 4/4

Use drawing as the property of Gábor, s.r.o. and do not copy it partially or fully without the written permission of the company. In case of any doubt, it is recommended to consult the company for explanation without authorization.

**DRAWING APPROVAL
BY CUSTOMER REQUIRED**

TYPE RTI
CONE RELIEF POINT
WEB THIN SHAPE RK
INTERNAL COOLANT
DOUBLE MARGIN

HEAD COATED

135°

Ø 16.25 -0.018 (h7)

0.014 A

4.70 ± 0.2

527 ± 0.4

4.8 ± 0.2

Ø 16 -0.011 (h6)

A

APPROVAL DRAWING

SORNO NO.	302677698	SURFACE	TIALN-COATED	SCALE	1:1
PROJECT		MATERIAL	DK460UF		
CUSTOMER NO.	09709000	DESCRIPTION	DEEP HOLE DRILL		
DRAWING NO.	44-00453144				
DATE	NAME				
DRAWN 210312	GRAFS				
CHECKED 210312	GRAFS				
MATERIAL TO BE CUT		CUSTOMER TOOL NUMBER			
GUTHRING		GUTHRING TOOL NUMBER			
		K_0052_302677698			
REV	MODIFICATION	DATE	NAME	ART NO	CODE NO
SOURCE					

ETCH INFORMATION:
 LINE 1 16,250
 LINE 2 DK460UFZ
 LINE 3 GUTHRING "JOB NO"
 LINE 4

SALE DEPT

FILE

2-0377698

CPM 5

NR 710 PL 4/52

14/02/2012